

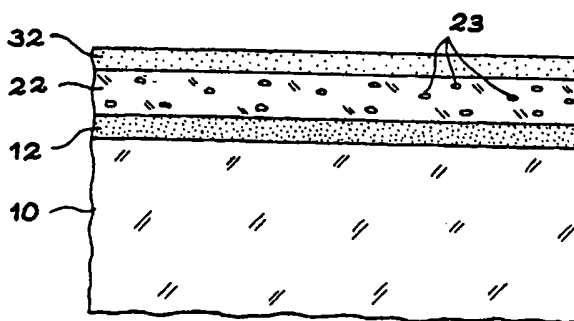


DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets ⁷ : H01S 3/16, 5/34, 5/183	A1	(11) Numéro de publication internationale: WO 00/48275 (43) Date de publication internationale: 17 août 2000 (17.08.00)
(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR00/00279 (22) Date de dépôt international: 7 février 2000 (07.02.00) (30) Données relatives à la priorité: 99/01560 10 février 1999 (10.02.99) FR (71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): COMMIS- SARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE [FR/FR]; 31/33, rue de la Fédération, F-75752 Paris 15ème (FR). (72) Inventeurs; et (75) Inventeurs/Déposants (US seulement): PAUTRAT, Jean-Louis [FR/FR]; 4, rue du Trident, F-38100 Grenoble (FR). ULMER, Hélène [FR/FR]; Les Serralières, F-38610 Venon (FR). MAGNEA, Noël [FR/FR]; 41, rue du Dauphiné, F-38430 Moirans (FR). HADJI, Emmanuel [FR/FR]; 9, impasse des Primevères, F-38600 Fontaine (FR). (74) Mandataire: DES TERMES, Monique; Brevatome, 03, rue du Docteur Lancereaux, F-75008 Paris (FR).		(81) Etats désignés: JP, US, brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Publiée Avec rapport de recherche internationale.

(54) Title: SILICON LIGHT-EMITTING DEVICE AND METHOD FOR THE PRODUCTION THEREOF

(54) Titre: DISPOSITIF EMETTEUR DE LUMIERE, EN SILICIUM, PROCEDE DE FABRICATION



(57) Abstract

The invention relates to a light-emitting device and a wave guide comprising at least one active silicon area and means for creating photons in said active area. According to the invention, the means for creating photons include a diode (22c, 22d) that is formed in said area. The inventive device also includes means of containment for the carriers injected by the diode and the silicon of the active area is monocrystalline.

(57) Abrégé

L'invention concerne un dispositif émetteur et guide de lumière comprenant au moins une région active (22) en silicium et des moyens pour créer des photons dans ladite région active. Conformément à l'invention, les moyens pour créer les photons comportent une diode (22c, 22d) formée dans la région active. De plus le dispositif comporte des moyens de confinement des porteurs injectés par la diode et le silicium de la région active est monocristallin.

UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AL	Albanie	ES	Espagne	LS	Lesotho	SI	Slovénie
AM	Arménie	FI	Finlande	LT	Lituanie	SK	Slovaquie
AT	Autriche	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Sénégal
AU	Australie	GA	Gabon	LV	Lettonie	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaïdjan	GB	Royaume-Uni	MC	Monaco	TD	Tchad
BA	Bosnie-Herzégovine	GE	Géorgie	MD	République de Moldova	TG	Togo
BB	Barbade	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tadjikistan
BE	Belgique	GN	Guinée	MK	Ex-République yougoslave de Macédoine	TM	Turkménistan
BF	Burkina Faso	GR	Grèce	ML	Mali	TR	Turquie
BG	Bulgarie	HU	Hongrie	MN	Mongolie	TT	Trinité-et-Tobago
BJ	Bénin	IE	Irlande	MR	Mauritanie	UA	Ukraine
BR	Brésil	IL	Israël	MW	Malawi	UG	Ouganda
BY	Bélarus	IS	Islande	MX	Mexique	US	Etats-Unis d'Amérique
CA	Canada	IT	Italie	NE	Niger	UZ	Ouzbékistan
CF	République centrafricaine	JP	Japon	NL	Pays-Bas	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NO	Norvège	YU	Yougoslavie
CH	Suisse	KG	Kirghizistan	NZ	Nouvelle-Zélande	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	République populaire démocratique de Corée	PL	Pologne		
CM	Cameroun	KR	République de Corée	PT	Portugal		
CN	Chine	KZ	Kazakhstan	RO	Roumanie		
CU	Cuba	LC	Sainte-Lucie	RU	Fédération de Russie		
CZ	République tchèque	LI	Liechtenstein	SD	Soudan		
DE	Allemagne	LK	Sri Lanka	SE	Suède		
DK	Danemark	LR	Libéria	SG	Singapour		
EE	Estonie						

DISPOSITIF EMETTEUR DE LUMIERE, EN SILICIUM, PROCEDE DE FABRICATION

5

Domaine technique

La présente invention concerne un dispositif émetteur et guide de lumière avec une région active à base de silicium, et des procédés de fabrication d'un
10 tel dispositif.

On entend par région active une région du dispositif dans laquelle est générée et/ou guidée la lumière avant de quitter le dispositif.

L'invention trouve des applications dans la
15 réalisation de composants optiques ou optoélectroniques tels que des diodes électroluminescentes, des lasers, et éventuellement des photodétecteurs.

Une application particulièrement avantageuse de l'invention, liée à l'utilisation de silicium pour la
20 région active, est la fabrication de circuits intégrés combinant à la fois des composants électroniques et des composants optiques. Les composants électroniques sont en effet réalisés majoritairement à partir de silicium, en raison des qualités intrinsèques de ce matériau
25 semi-conducteur, et en raison du grand développement des technologies relatives à sa mise en oeuvre.

Etat de la technique antérieure

Comme évoqué ci-dessus, le silicium est très
30 largement utilisé dans la réalisation de composants ou de circuits intégrés électroniques à semi-conducteurs.

Cependant, dans certaines applications, dans lesquelles sont utilisés des composants destinés à l'émission de lumière, le silicium s'avère inadapté.

En effet, le silicium est un semi-conducteur à
5 bande interdite indirecte et n'est pas adapté à la recombinaison rapide des porteurs, c'est-à-dire des paires électron-trou, avec production de lumière. Lorsque l'on met en présence les électrons et les trous, par exemple en polarisant en direct une jonction
10 p-n formée dans le silicium, le temps moyen de leur recombinaison peut atteindre des durées de l'ordre de la microseconde ou plus. En fait, le phénomène de recombinaison des porteurs est dominé par d'autres processus plus rapides que la recombinaison radiative.
15 Ces processus correspondent essentiellement à la recombinaison non radiative des porteurs sur des défauts et impuretés.

Les défauts et impuretés jouent un rôle important, même si leur concentration est faible. Les
20 porteurs se déplacent dans le semi-conducteur sur une grande distance et leur probabilité de rencontrer un défaut ou une impureté est grande.

Ainsi, dans certains nombre d'applications, il s'avère indispensable de remplacer le silicium par un
25 autre matériau semi-conducteur à bande interdite directe comme l'arséniure de gallium (GaAs), par exemple. A titre indicatif, pour ce semi-conducteur, le temps moyen de recombinaison des paires électron-trou est de l'ordre de la nanoseconde.

30 L'arséniure de gallium est cependant un matériau coûteux et plus complexe à mettre en oeuvre.

Dans un certain nombre de cas particuliers et dans des conditions d'utilisation particulières, le

silicium a été proposé pour la réalisation de dispositifs d'émission ou de conduction de la lumière. Des exemples de telles utilisations du silicium sont suggérées notamment dans les documents (1) à (7) dont
5 les références sont précisées à la fin de la présente description.

Les documents suggèrent des techniques permettant d'augmenter l'efficacité de l'émission de lumière par le silicium, toutefois, ces techniques ne
10 sont généralement pas adaptées aux exigences de l'intégration des composants.

De façon plus particulière, les documents (6) et (7) décrivent des dispositifs d'émission de lumière réalisés sur un substrat de type silicium sur isolant
15 (SOI - Silicon On Insulator) de plus en plus utilisé en micro-électronique. Cependant, les conditions de fonctionnement à basse température et le caractère isotrope de l'émission de lumière des dispositifs constituent également des obstacles à leur utilisation
20 comme composants d'un circuit.

Exposé de l'invention

La présente invention a pour but de proposer un dispositif capable d'émettre mais aussi de guider la
25 lumière, qui soit à base de silicium et qui soit susceptible d'être réalisé selon des techniques communes, propres à la micro-électronique.

Un but est également de proposer un tel dispositif pouvant être utilisé comme un composant
30 individuel ou comme un composant intégré dans un circuit, en association avec d'autres composants optiques ou électroniques.

Un autre but est de proposer un tel dispositif avec un rendement d'émission de lumière amélioré et susceptible de fonctionner à température ambiante.

Un but est aussi de proposer des procédés de fabrication d'un dispositif conforme à l'invention.

Pour atteindre ces buts, l'invention a plus précisément pour objet un dispositif émetteur et guide de tel que défini par la revendication 1. Les revendications 2 à 16 indiquent des réalisations particulières du dispositif.

Le dispositif de l'invention présente à la fois l'avantage de confiner les porteurs dans une région limitée, la région active, de façon à réduire la probabilité de rencontre des porteurs avec des centres non radiatifs, et l'avantage d'offrir aux porteurs, dans cette région, des centres radiatifs à durée de vie courte.

On entend par durée de vie courte une durée de vie plus faible que la durée de vie liée à la probabilité de recombinaison non radiative sur des défauts ou impuretés de la région active.

La région active est, par exemple, un film mince et continu de silicium empilé entre les première et deuxième couches isolantes. Ce film est de préférence monocristallin, ce qui lui confère des qualités radiatives supérieures.

Selon une réalisation particulière du dispositif de l'invention, les moyens de confinement des porteurs comportent des première et deuxième couches d'isolant et l'ensemble comprenant la région active et les couches d'isolant présente une épaisseur optique e telle que :

$$e = k \frac{\lambda}{2},$$

où k est un entier naturel.

Dans cette réalisation particulière, adaptée à un dispositif fonctionnant à une longueur d'onde λ donnée, la lumière est confinée dans la région active. Elle se propage dans le plan principal de cette région, notamment dans le cas où la région active est une couche mince de silicium, par réflexion totale sur les couches isolantes. Le plan principal est défini comme un plan de la région active sensiblement parallèle à celui des couches isolantes.

La réflexion totale est obtenue grâce à un saut d'indice approprié entre le matériau de la région active (Si) et celui utilisé pour les couches isolantes (par exemple SiO_2).

L'épaisseur optique e de la couche ou de la région active en silicium est adaptée à la longueur d'onde de travail λ de sorte que : $e = k \frac{\lambda}{2}$ où k est un nombre entier.

Selon une variante, la propagation peut également être prévue pour être perpendiculaire au plan principal. Dans ce cas, le dispositif peut comporter en outre des moyens de réflexion de la lumière comportant au moins un miroir disposé sur une face libre d'au moins l'une des première et deuxième couches d'isolant.

Plus précisément, les moyens de réflexion de la lumière peuvent comporter un premier miroir disposé sur la face libre de la première couche d'isolant et un deuxième miroir disposé sur la face libre de la deuxième couche d'isolant, les premier et deuxième

miroirs présentant des coefficients de transmission différents.

Le miroir présentant le coefficient de transmission le plus élevé peut alors être utilisé
5 comme un miroir de sortie de la lumière.

Par ailleurs, les premier et deuxième miroirs peuvent former avec la région active une cavité de type Fabry-Pérot.

Il convient de préciser que les moyens de
10 réflexion ont également une fonction de guidage de la lumière.

Comme indiqué précédemment, la région active contient des centres radiatifs, c'est-à-dire des centres permettant la recombinaison radiative des
15 porteurs.

Différents types de centres radiatifs peuvent être prévus et éventuellement combinés dans la région active.

Un premier type de centres radiatifs peut être
20 constitué par des ions de terres rares, accompagnés éventuellement d'autres impuretés.

Les terres rares, telles que par exemple l'erbium, le praséodyme ou le néodyme sont des centres de recombinaison radiative efficaces. La longueur
25 d'onde de la lumière émise est principalement déterminée par la nature de la terre rare et très peu par la matrice, c'est-à-dire ici le silicium. Les terres rares mentionnées ci-dessus sont particulièrement intéressantes car leur émission
30 correspond aux longueurs d'onde utiles pour les télécommunications par fibre optique (1,3 et 1,54 micron). Le co-dopage avec d'autres impuretés telles que l'oxygène, le carbone, l'azote ou le fluor

peut encore accroître de façon significative cette émission.

Un deuxième type de centres radiatifs peut être constitué par un puits quantique ou une succession de
5 plusieurs puits quantiques formés par des couches minces de germanium ou d'alliage $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ (avec $0 < x < 1$) ou SiGeC ou de tout autre composé adapté à la formation de puits quantiques. L'épaisseur des couches formant
10 les puits peut être par exemple de l'ordre de 5 nm. De plus, l'épaisseur cumulée de ces couches est de préférence maintenue inférieure à une épaisseur critique correspondant à l'apparition de dislocations de désaccord de maille dans le silicium. Ainsi, la
15 qualité cristalline de la région active reste très bonne. Les puits quantiques conduisent à une efficacité accrue de recombinaison radiative. De plus, une succession de puits et de barrières très minces, peut
20 conduire à la formation d'une structure de bande semblable à une structure à bande interdite directe, avec une grande probabilité de recombinaison radiative. Les barrières de potentiel sont formées par le silicium entre les couches de germanium.

Un troisième type de centres radiatifs peut être constitué par des boîtes quantiques formées à
25 partir d'un film de germanium ou de silicium-germanium, ou à partir d'autres éléments introduits dans le silicium.

En effet, du fait du désaccord de paramètre de maille entre le silicium et le germanium, le film de
30 germanium, s'il excède une épaisseur de quelques monocouches se transforme naturellement en une succession d'îlots isolés répartis dans la région active, qui constituent les boîtes quantiques.

Ces îlots sont de 100 à 1000 fois plus efficaces que le germanium sous forme de couche massive pour l'émission de lumière. L'introduction de tels îlots dans le film de silicium permet donc de
5 constituer un émetteur de lumière très efficace.

Les photons dans la région active peuvent être créés par "pompage" optique ou électrique.

Dans le premier cas, les moyens pour créer des photons dans la région active peuvent comporter une
10 source additionnelle de lumière.

Dans le cas d'un pompage électrique, les moyens pour créer des photons dans la région active comportent une diode formée dans la région active.

Le dispositif de l'invention peut comporter une
15 zone active unique, se présentant, par exemple, comme évoqué ci-dessus, sous la forme d'une couche continue de silicium.

Selon une variante, toutefois, le dispositif peut aussi comporter une pluralité de régions actives
20 entre les première et deuxième couches isolantes et séparées entre elles par un matériau isolant.

Les régions actives peuvent être, par exemple, des îlots de silicium entourés d'oxyde de silicium. Les îlots présentent de préférence une dimension
25 caractéristique comprise entre 100 et 200 nm. En particulier, il peut être avantageux d'avoir une dimension caractéristique sensiblement égale à l'épaisseur.

Les couches ou zones d'isolant qui délimitent
30 ou entourent les zones actives ont essentiellement pour rôle de limiter le mouvement des porteurs qui se déplacent de façon prédominante sous l'effet de la

diffusion, ou, selon le cas, sous l'effet d'un champ électrique.

Les couches ou zones d'isolant sont de préférence en un matériau avec une bande interdite
5 large, de façon à opposer aux porteurs des barrières de potentiel élevées. Parmi ces matériaux isolants, on peut citer, par exemple, le SiC (carbure de silicium).

Comme beaucoup d'autres isolants, le carbure de silicium présente avec le silicium un désaccord de
10 maille trop important pour envisager la croissance du silicium sur le SiC avec une bonne qualité cristalline.

Pour surmonter cette difficulté, l'invention a également pour objet un procédé de fabrication d'un dispositif tel que décrit précédemment. Ce procédé
15 comporte le report, par collage moléculaire, d'une couche mince de silicium destinée à former la région active sur un support qui constitue ou comprend une première couche d'isolant. Le procédé est complété par le recouvrement de ladite couche de silicium par une
20 deuxième couche d'isolant.

Le report par collage moléculaire permet d'associer au silicium des matériaux isolants présentant d'excellentes propriétés de barrière de potentiel, même si ces matériaux ne présentent pas de
25 structure cristalline ou si ces matériaux présentent une structure cristalline incompatible avec la croissance de silicium.

La couche mince de silicium peut être reportée sur un support massif isolant en un matériau tel que,
30 par exemple, les alliages SiC, ZnO, AlN ou BN.

Les techniques de collage moléculaire, bien connues en soi, ne sont pas décrites ici.

Selon une autre possibilité, la couche mince de silicium peut aussi être collée sur un support formé d'un substrat de silicium recouvert d'une couche superficielle en un matériau diélectrique usuel en micro-électronique, tel que SiO_2 , Si_3N_4 ou le quartz.

Selon une mise en oeuvre particulière du procédé, le report de la couche mince comporte le collage moléculaire sur le support d'un bloc de silicium épais par une face de report, le bloc de silicium étant pourvu d'une zone de clivage préférentiel parallèle à la face de report et délimitant la couche mince, puis après le collage, le clivage dudit bloc pour en séparer la couche mince du bloc.

La zone de clivage peut être formée par exemple avant le report en implantant des ions appropriés, tels que des ions hydrogène à une profondeur déterminée dans le bloc de silicium pour y créer la zone de clivage préférentielle.

Selon une variante, le report de la couche mince peut comporter le collage sur le support d'une couche de silicium solidaire d'un substrat du support (par exemple en silicium massif) par l'intermédiaire d'une couche sacrificielle, puis la séparation de la couche mince de substrat par dissolution de la couche sacrificielle.

A titre d'exemple, la couche de silicium destinée à former la région active peut être formée par épitaxie sur le substrat de silicium qui a été préalablement recouvert d'une couche sacrificielle d'alliage GeSi.

La composition et l'épaisseur de la couche de GeSi sont choisies de préférence de façon à autoriser

la croissance d'une couche de silicium de bonne qualité cristalline.

La couche de silicium peut encore être partiellement oxydée pour la recouvrir d'une couche
5 d'oxyde.

Le substrat équipé de la couche de silicium est ensuite reporté sur le support, et l'alliage de SiGe est dissout pour détacher du substrat la couche de silicium formant la région active.

10 Selon encore une autre possibilité de réalisation du dispositif, le procédé peut aussi comporter la formation d'une couche d'oxyde enterrée dans un bloc de silicium, de façon à y délimiter une couche mince superficielle de silicium, la couche mince
15 superficielle étant destinée à former la région active, puis le recouvrement de la couche mince par une couche d'oxyde.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront mieux de la description
20 qui va suivre, en référence aux figures des dessins annexés. Cette description est donnée à titre purement illustratif et non limitatif.

Brève description des figures

25 - Les figures 1 et 2 sont des coupes schématiques partielles d'un dispositif électrooptique illustrant un aspect d'un procédé de réalisation d'une région active entre deux couches isolantes, conforme à l'invention.

30 - Les figures 3A , 3B, 4 et 5 sont des coupes schématiques partielles de dispositifs conformes à l'invention et illustrent différentes caractéristiques et réalisations possibles de la région active.

- Les figures 6 et 7 sont des coupes schématiques partielles de dispositifs conformes à l'invention et illustrent différentes possibilités de réalisation de moyens de guidage de la lumière.

5 - Les figures 8 et 9 sont des coupes schématiques de dispositifs conformes à l'invention illustrant différentes possibilités de réalisation de moyens de pompage.

10 Description détaillée de modes de mise en oeuvre de l'invention

 Dans la description qui suit, des parties identiques, similaires ou équivalentes des différentes figures sont repérées avec les mêmes références
15 numériques. Pour des raisons de commodité, les parties équivalentes ne sont toutefois pas représentées à la même échelle sur les différentes figures.

 La référence 10 sur la figure 1 désigne un substrat de support en silicium sur lequel on souhaite
20 réaliser un dispositif tel que décrit précédemment.

 Le support 10 présente à sa surface une première couche 12 d'oxyde de silicium, utilisé ici comme isolant.

 A titre de variante, l'ensemble formé par le
25 support 10 et la première couche 12 pourrait être remplacé par un support ou une couche isolante épaisse et massive, par exemple de carbure de silicium.

 La référence 20 désigne un deuxième substrat de silicium, de type monocristallin présentant une couche
30 mince superficielle 22 séparée du reste du substrat par une zone 24 de clivage préférentiel.

La zone de clivage 24, comme évoqué précédemment peut être formée par l'implantation d'ions hydrogène à une profondeur donnée dans le substrat.

La couche superficielle 22 peut contenir des impuretés ou d'autres défauts constituant des centres de recombinaison radiative de porteurs. Ces caractéristiques n'apparaissent pas sur la figure 1, mais seront décrits plus en détail dans la suite du texte.

Le deuxième substrat 20 est reporté sur le support 10 en collant la surface libre de la couche superficielle sur la première couche d'oxyde de silicium 12.

Le collage est effectué sans ajout de matériau liant, mais par liaison moléculaire entre les parties mises en contact.

Selon une variante, la première couche d'oxyde peut également être formée initialement sur la couche mince superficielle de silicium du deuxième substrat.

Dans ce cas, le collage moléculaire a lieu entre cette couche et le support 10.

La figure 2 montre la structure obtenue après le collage de la couche mince de silicium, le clivage selon la zone de clivage et l'élimination de la partie restante du deuxième substrat.

Selon une variante, la zone de clivage 24, visible à la figure 1 peut être remplacée par une couche sacrificielle. La structure de la figure 2 est alors obtenue par collage puis par dissolution sélective de la couche sacrificielle.

On remarque également sur la figure 2 une deuxième couche d'oxyde de silicium 32, qui recouvre la couche mince de silicium 22. La deuxième couche d'oxyde

32 peut être formée, par exemple, par dépôt ou par oxydation en surface de la couche de silicium.

On peut observer, que selon un autre procédé de fabrication, la première couche d'oxyde de silicium
5 peut être également formée par implantation d'ions oxygène dans un bloc de silicium avec une énergie suffisante pour l'enterrer sous la couche superficielle 22.

Les figures 3A, 3B, 4 et 5 décrites ci-après,
10 correspondent à la structure de la figure 2 et montrent différents types de centres radiatifs pouvant être prévus dans la couche de silicium 22 et différentes configurations de la couche de silicium. Ces différentes possibilités doivent être comprises comme
15 n'étant pas exclusives les unes des autres.

Dans l'exemple de la figure 3A, les centres radiatifs sont formés par des impuretés 23, telles que des ions de terres rares, réparties dans la couche mince de silicium.

20 Ces impuretés peuvent être mises en place par implantation ionique. Elles peuvent être introduites à différents stades de la fabrication de la structure, par exemple par implantation dans le substrat 20 avant collage moléculaire ou bien par implantation dans la
25 couche mince 22 après collage.

La figure 3B montre une réalisation particulière dans laquelle, au moyen d'une oxydation traversant la couche de silicium, on a formé une pluralité d'îlots discontinus 22a formant chacun une
30 région active. Chacune de ces régions actives peut contenir des impuretés ou d'autres centres radiatifs, de la même façon que la couche 22 de silicium de la figure 3. Les centres radiatifs du dispositif, de la

figure 4, ne sont pas représentés pour des raisons de clarté.

Sur la figure 3B, on désigne par " ℓ " la longueur des îlots parallèlement à la surface du support 10 et par " d " la distance entre îlots. La longueur " ℓ " est de préférence du même ordre que l'épaisseur des îlots. Cette longueur est de 100 nm à 200 nm, par exemple, de même que l'épaisseur des îlots.

La figure 4 montre une variante dans laquelle les centres radiatifs sont formés par des puits quantiques.

Les puits quantiques sont formés par des fines couches 25 de germanium ou d'alliage $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 < x \leq 1$) ou SiGeC ou tout autre matériau adapté à la formation de puits quantiques, intercalées dans la couche de silicium. Les couches 25 forment les puits quantiques et présentent une épaisseur suffisamment faible, par exemple de l'ordre de 5 nm, de sorte que l'épaisseur cumulée de ces couches ne provoque pas de dislocations du silicium, résultant d'un désaccord de maille. A titre d'exemple, la structure peut comporter cinq couches de puits quantiques en $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ avec $x=0,2$.

Les couches 25 de puits quantiques sont séparées par des barrières minces formées par des sous-couches 22b de la couche de silicium 22.

La couche de silicium 22, qui forme la région active, peut être formée par épitaxie en alternant successivement les sous-couches 22a de silicium et les sous-couches formant les puits quantiques 25.

La figure 5 montre encore une autre possibilité dans laquelle les centres radiatifs sont des boîtes quantiques 29.

Les boîtes quantiques 29 sont obtenues en introduisant dans la couche de silicium 22 des couches de germanium 27 dont l'épaisseur est de l'ordre de quelques couches monoatomiques. Ces couches sont trop
5 fines pour introduire des dislocations dans le silicium.

Toutefois, en raison d'un désaccord de maille entre le silicium et le germanium, il se forme naturellement des îlots de germanium 29 qui constituent
10 les boîtes quantiques.

La figure 6 montre une première possibilité de réalisation des moyens de confinement des porteurs et de guidage de la lumière qui mettent à profit un saut d'indice entre la couche de silicium 22 et les première
15 et deuxième couches d'oxyde de silicium 12 et 32.

Dans cette réalisation, l'épaisseur optique e de la région active, c'est-à-dire de la couche 22 est adaptée de façon à vérifier la formule $e = \frac{k}{2} \cdot \lambda$ où λ
20 est la longueur d'onde de travail du dispositif, k un entier.

La propagation de la lumière a lieu par réflexion totale sur les couches d'oxyde de silicium, de sorte que le guidage de la lumière s'effectue selon un plan principal de la région active, parallèle aux
25 première et deuxième couches d'oxyde, et indiqué avec une double flèche X.

La figure 7 montre une deuxième possibilité de réalisation des moyens de guidage de la lumière.

Les moyens de guidage comportent un premier
30 miroir 15 formé sur une face libre de la première couche d'oxyde 12, et situé dans une ouverture 11 pratiquée par gravure dans le premier substrat 10.

Un deuxième miroir 35 des moyens de guidage est formé sur la surface libre de la deuxième couche d'oxyde 32.

On entend par faces libres des couches d'oxyde
5 les faces qui ne sont pas en contact avec la région active.

Les miroirs 15 et 35 sont formés, par exemple, par une alternance de couches de matériaux diélectriques à la manière d'un miroir de Bragg. Les
10 paires de couches sont, par exemple, du type ZnS/YF_3 ou $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$.

De préférence, la couche de silicium 22 et les première et deuxième couches d'oxyde de silicium 12, 32 sont choisies de façon à former une cavité de type
15 Fabry-Pérot.

Avec le dispositif de la figure 7, la propagation de la lumière est sensiblement perpendiculaire au plan principal de la région active, c'est-à-dire perpendiculaire aux miroirs.

20 La direction de propagation est indiquée par une double flèche Y.

Les figures 8 et 9 montrent des réalisations particulières de moyens de pompage utilisés dans des dispositifs dont la structure est sensiblement celle
25 illustrée par la figure 7. Il convient cependant de noter que les moyens de pompage peuvent être adaptés aux autres formes possibles du dispositif, et décrites précédemment.

Dans le dispositif de la figure 8, la couche 22
30 de silicium, formant la région active, comporte une première partie 22c présentant un premier type de conductivité et une deuxième partie 22d présentant un type de conductivité opposé à celui de la première

partie, de façon à créer dans la région active une jonction de diode. La deuxième partie 22d peut être formée par implantation d'ions dans la première partie 22c de la couche de silicium.

5 Des contacts 42, 44 formés respectivement sur les première et deuxième parties 22c, 22d de la couche de silicium, sont connectés à une source de tension 46, pour polariser la jonction et provoquer un passage de courant s'accompagnant de la recombinaison radiative
10 d'électrons et de trous.

Les contacts 42 et 44 sont réalisés dans des ouvertures pratiquées dans le deuxième miroir 35.

Le deuxième miroir 35 présente, dans cet exemple de réalisation, un coefficient de transmission
15 de la lumière inférieur à 1%, tandis que le premier miroir 15 présente un coefficient de transmission permettant l'extraction de lumière, de l'ordre de 40%.

Ainsi, la lumière est extraite à travers le premier miroir 15 et à travers l'ouverture 11 du
20 support 10. Une flèche indique l'extraction de lumière.

La figure 9 montre un dispositif dans lequel le rôle des miroirs est inversé.

Le premier miroir 15 présente un coefficient de transmission très faible de la lumière à la longueur
25 d'onde de travail, tandis que le second miroir 35 laisse sortir (en partie) la lumière provenant de la région active.

Contrairement au dispositif de la figure 8, le dispositif de la figure 9 est pompé optiquement à
30 partir d'une source de lumière de pompage 50.

La source de lumière de pompage peut être un laser, pulsé ou non qui doit être absorbé de façon efficace dans la couche active 22. Dans ce but, on

préfère un laser à courte longueur d'onde. La longueur d'onde de la lumière de pompage est choisie différente de la longueur d'onde de travail de la lumière de la région active.

- 5 Le premier miroir 15 recevant la lumière de pompage est accordé pour être transparent à la longueur d'onde de cette lumière, et résonnant à la longueur d'onde de travail du dispositif.

10 **DOCUMENTS CITES**

(1)

EP-A-0 517 440

(2)

GB-A-2 275 582

15 (3)

"Giant enhancement of luminescence intensity in Er-doped Si/SiO₂ resonant cavities"

Appl. Phys. Lett. 61(12), 21 Sept. 1992

de E.F. Schubert et al.

20 (4)

"Silicon intersubband lasers"

Superlattices and Microstructures, vol. 23, n° 2, 1998

de Richard A. Soref.

25 (5)

"Prospects for novel Si-based optoelectronic devices : unipolar and p-i-p-i lasers"

Thin Solid Films 294 (1997) 325-329

de Richard A. Soref

30 (6)

"Characterization of bond and etch-back silicon-on-insulator wafers by photoluminescence under ultraviolet excitation"

Appl. Phys. Lett. 70(2), 13 January 1977
de M. Tajima et al.

(7)

"Luminescence due to electron-hole condensation in
silicon-on-insulator"
Journal of Applied Physics, volume 84, n° 4, 15
August 1998
de Michio Tajima et al.

REVENDICATIONS

1. Dispositif émetteur et guide de lumière comprenant au moins une région active (22) en silicium et des moyens pour créer des photons dans ladite région active, caractérisé en ce que les moyens pour créer les photons comportent une diode (22c, 22d) formée dans la région active, en ce que le dispositif comporte des moyens de confinement des porteurs injectés par la diode et en ce que le silicium de la région active est monocristallin.

2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel les moyens de confinement des porteurs comportent des première et deuxième couches d'isolant (12, 32).

3. Dispositif selon la revendication 2, pour la propagation d'une lumière de longueur d'onde donnée λ , dans lequel l'ensemble comprenant la région active et les couches d'isolant présente une épaisseur optique e telle que :

$$e = k \frac{\lambda}{2}$$

où k est un entier naturel.

4. Dispositif selon la revendication 2, dans lequel les première et deuxième couches d'isolant sont des couches d'oxyde de silicium.

5. Dispositif selon la revendication 2, comportant en outre des moyens de réflexion de la lumière comportant au moins un miroir (15, 35) disposé sur une face libre d'au moins l'une des première et deuxième couches d'isolant.

6. Dispositif selon la revendication 5, dans lequel les moyens de réflexion de la lumière comportent un premier miroir (15) disposé sur la face libre de la

première couche d'isolant (12) et un deuxième miroir (35) disposé sur la face libre de la deuxième couche d'isolant (32), les premier et deuxième miroirs présentant des coefficients de transmission différents.

5 7. Dispositif selon la revendication 6, dans lequel les premier et deuxième miroirs forment avec la région active et les couches isolantes une cavité de type Fabry-Pérot.

10 8. Dispositif selon la revendication 5, dans lequel au moins un miroir (15, 35) comporte un empilement de couches diélectriques.

15 9. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel les moyens pour créer des photons dans la région active comportent en outre une source additionnelle de lumière (50).

10. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel la région active comprend des centres radiatifs.

20 11. Dispositif selon la revendication 10, dans lequel les centres radiatifs sont en un matériau choisi parmi le Si, le Ge, le SiGe, le SiGeC.

12. Dispositif selon la revendication 10, dans lequel les centres radiatifs comportent des impuretés (23) de terres rares dans la région active.

25 13. Dispositif selon la revendication 10, dans lequel les centres radiatifs comportent au moins un puits quantique dans la région active.

14. Dispositif selon la revendication 10, dans lequel les centres radiatifs comportent des boîtes quantiques (29) réparties dans la région active.

30 15. Dispositif selon la revendication 1, comportant une pluralité de régions actives (22a) entre les première et deuxième couches isolantes et séparées entre elles par un matériau isolant.

16. Dispositif selon la revendication 15, dans lequel les régions actives (22a) sont des îlots de entourés de matériau isolant, les îlots présentant une dimension caractéristique (ℓ) sensiblement égale à leur épaisseur.

17. Procédé de fabrication d'un dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte le report d'une couche mince de silicium destinée à former la région active sur un support par collage moléculaire, puis le recouvrement de ladite couche de silicium par une couche d'isolant.

18. Procédé selon la revendication 17, dans lequel le report de la couche mince comporte :

- le collage moléculaire sur le support d'un bloc de silicium (20) épais par une face de report, le bloc étant pourvu d'une zone de clivage préférentiel (24) parallèle à la face de report et délimitant la couche mince (22),
- puis après le collage, le clivage dudit bloc pour en séparer la couche mince.

19. Procédé selon la revendication 17, dans lequel le report de la couche mince comprend le collage sur le support d'une couche de silicium solidaire d'un substrat de silicium par l'intermédiaire d'une couche sacrificielle, puis la séparation de la couche mince du substrat par dissolution de la couche sacrificielle.

20. Procédé de fabrication d'un dispositif selon la revendication 4, comprenant la formation d'une première couche d'oxyde enterrée (12) dans un bloc de silicium de façon à délimiter une couche mince superficielle de silicium (22) dans le bloc, la couche mince superficielle étant destinée à former la région

active, puis le recouvrement de la couche mince par une deuxième couche d'oxyde.

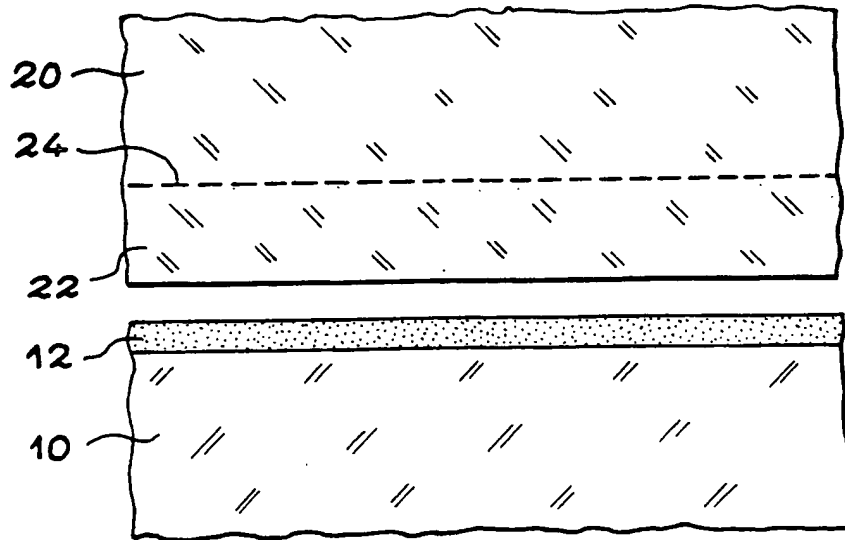


FIG. 1

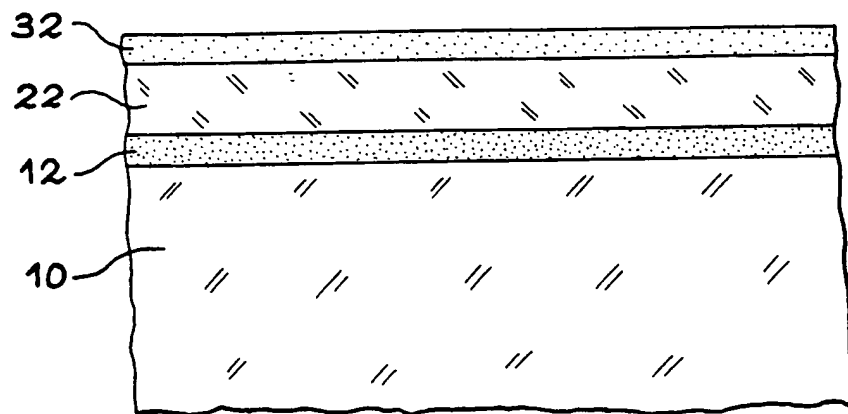


FIG. 2

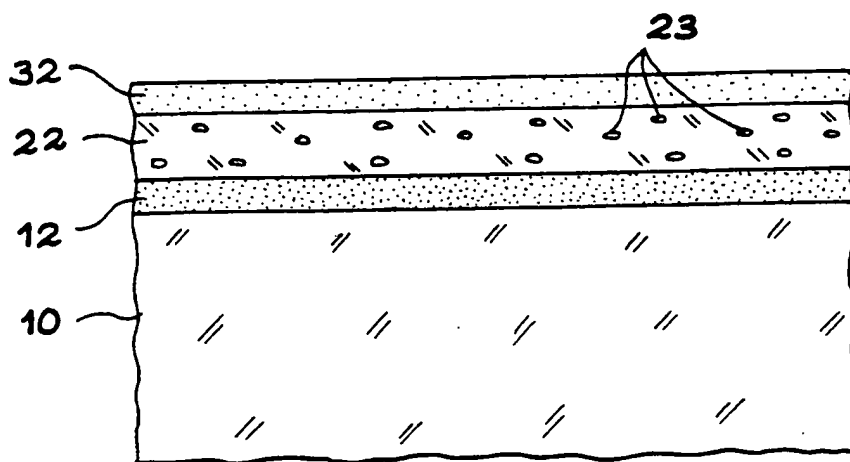


FIG. 3 A

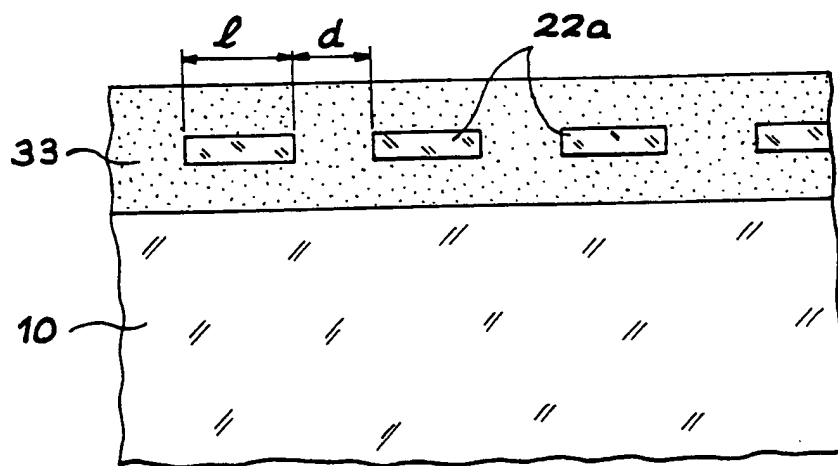


FIG. 3 B

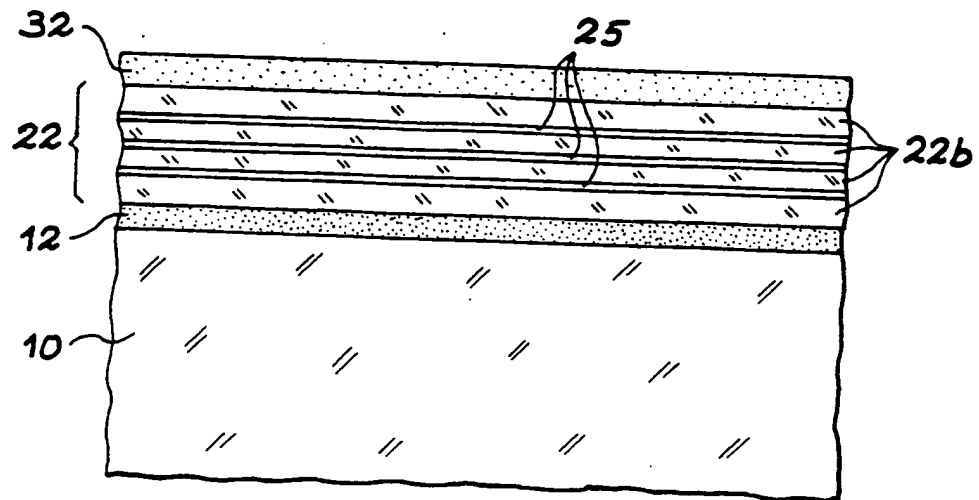


FIG. 4

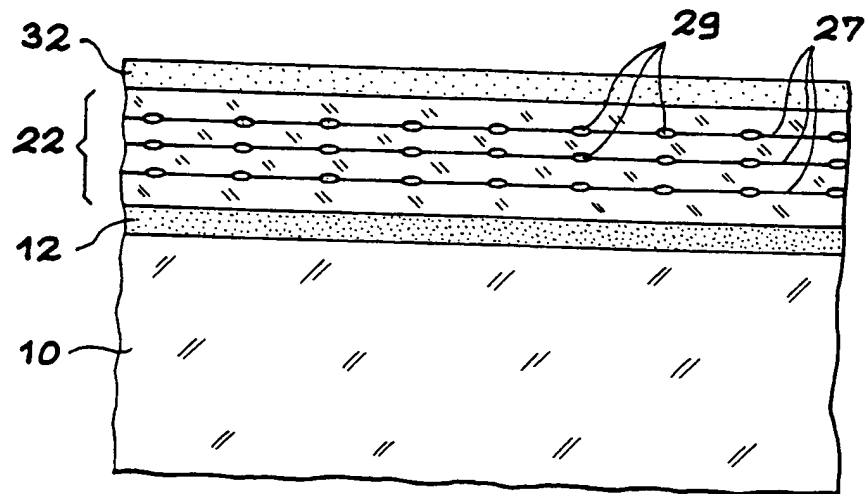


FIG. 5

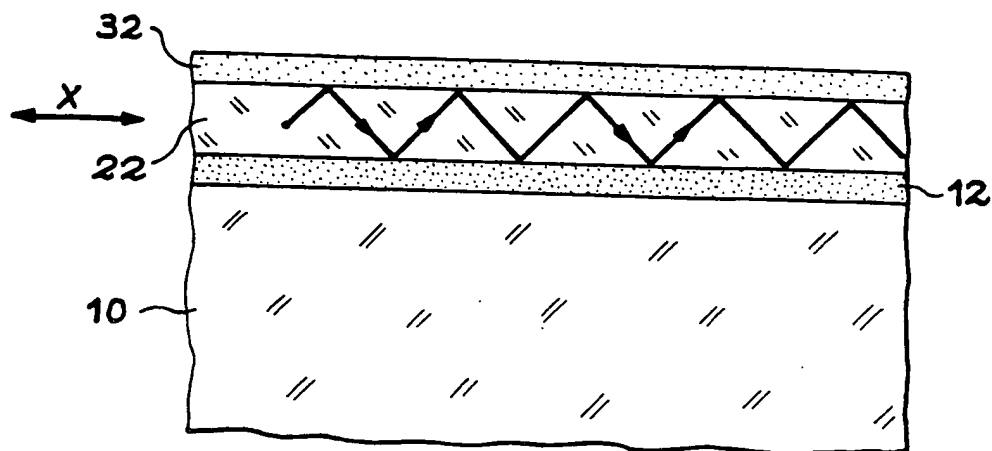


FIG. 6

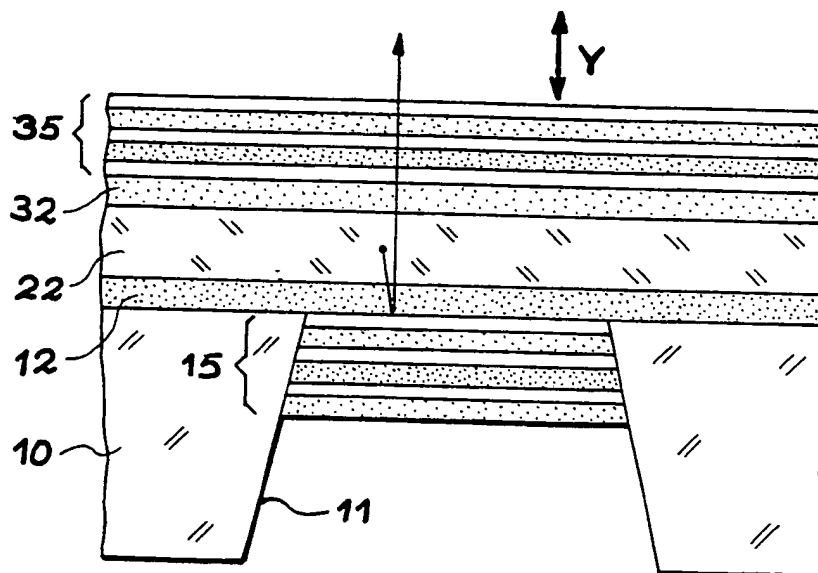


FIG. 7

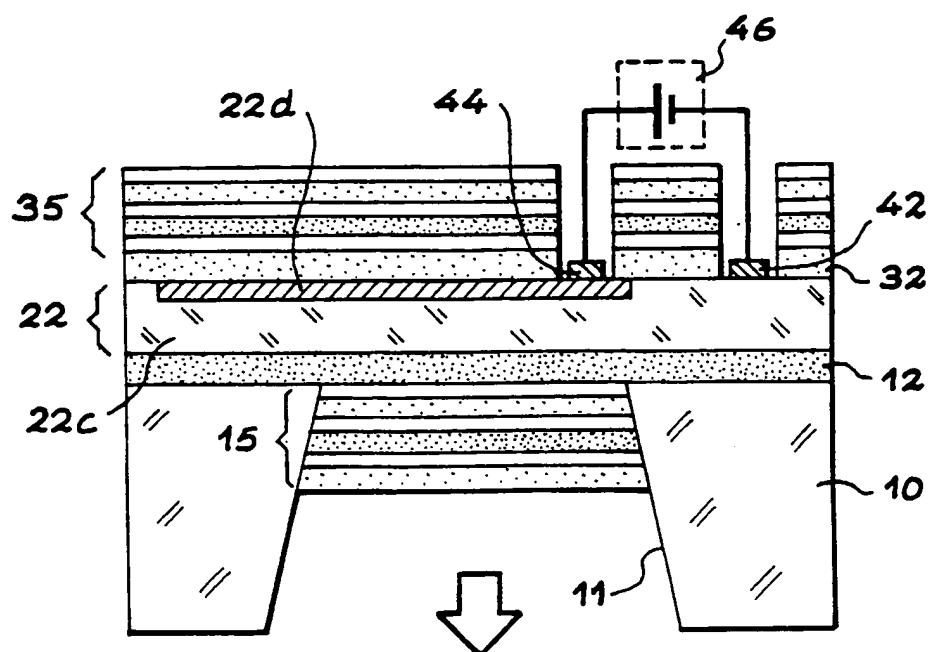


FIG. 8

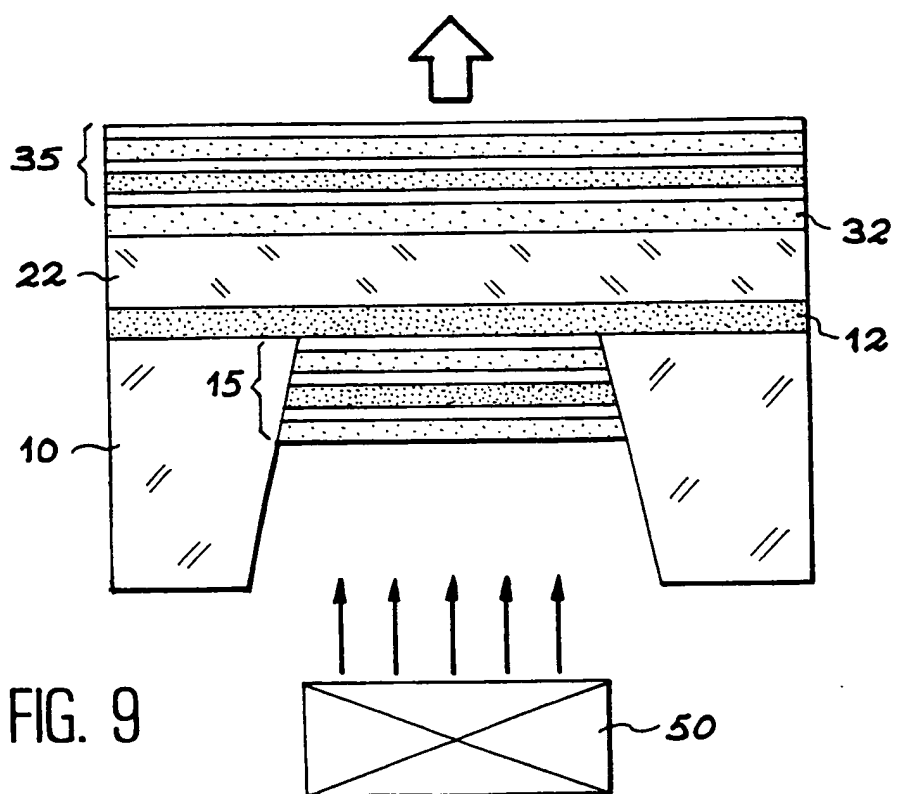


FIG. 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 00/00279

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 H01S3/16 H01S5/34 H01S5/183

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 96 25767 A (PAINTER B A III) 22 August 1996 (1996-08-22)	1
A	page 22, line 26 -page 26, line 11; figures 10-16	2-8
A	ENNEN H ET AL: "1.54- mu m electroluminescence of erbium-doped silicon grown by molecular beam epitaxy" APPLIED PHYSICS LETTERS, 15 FEB. 1985, USA, vol. 46, no. 4, pages 381-383, XP002137329 ISSN: 0003-6951 the whole document	1

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

10 May 2000

Date of mailing of the international search report

24/05/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx: 31 651 epo nt,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Claessen, L

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 00/00279

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 578 407 A (AMERICAN TELEPHONE & TELEGRAPH) 12 January 1994 (1994-01-12) page 2, line 40-49; figure 1 page 3, line 35-58 ---	1-8, 10, 17
A	US 5 107 538 A (BENTON JANET L ET AL) 21 April 1992 (1992-04-21) cited in the application the whole document ---	1, 10, 17
A	US 5 374 564 A (BRUEL MICHEL) 20 December 1994 (1994-12-20) the whole document ---	1, 17-20
A	REITTINGER A ET AL: "INFLUENCE OF THE ERBIUM AND OXYGEN CONTENT ON THE ELECTROLUMINESCENCE OF EPITAXIALLY GROWN ERBIUM-DOPED SILICON DIODES" APPLIED PHYSICS LETTERS, vol. 70, no. 18, 5 May 1997 (1997-05-05), pages 2431-2433, XP000701346 ISSN: 0003-6951 abstract ---	1
A	FUKATSU S ET AL: "CAVITY MODE LUMINESCENCE OF STRAINED Si1-XGEX/Si QUANTUM WELLS GROWN ON A BURIED-OXIDE SUBSTRATE" JOURNAL OF CRYSTAL GROWTH, vol. 150, no. 1/04, PART 02, 1 May 1995 (1995-05-01), pages 1055-1059, XP000627835 ISSN: 0022-0248 abstract ---	1, 11
A	US 5 563 979 A (BRUCE ALLAN J ET AL) 8 October 1996 (1996-10-08) the whole document -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 00/00279

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9625767 A	22-08-1996	US 5917195 A	29-06-1999
		AU 5170096 A	04-09-1996
		CA 2213210 A	22-08-1996
		EP 0838093 A	29-04-1998
		JP 11500580 T	12-01-1999
EP 0578407 A	12-01-1994	US 5249195 A	28-09-1993
		CA 2096183 A,C	31-12-1993
		JP 6077579 A	18-03-1994
US 5107538 A	21-04-1992	DE 69201013 D	09-02-1995
		DE 69201013 T	11-05-1995
		EP 0517440 A	09-12-1992
		JP 2097494 C	02-10-1996
		JP 5175592 A	13-07-1993
		JP 8001974 B	10-01-1996
US 5374564 A	20-12-1994	FR 2681472 A	19-03-1993
		EP 0533551 A	24-03-1993
		JP 5211128 A	20-08-1993
US 5563979 A	08-10-1996	EP 0762571 A	12-03-1997
		JP 9105965 A	22-04-1997

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Des. de Internationale No

PCT/FR 00/00279

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 7 H01S3/16 H01S5/34 H01S5/183

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 H01S

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	WO 96 25767 A (PAINTER B A III) 22 août 1996 (1996-08-22)	1
A	page 22, ligne 26 -page 26, ligne 11; figures 10-16	2-8
A	ENEN H ET AL: "1.54- mu m electroluminescence of erbium-doped silicon grown by molecular beam epitaxy" APPLIED PHYSICS LETTERS, 15 FEB. 1985, USA, vol. 46, no. 4, pages 381-383, XP002137329 ISSN: 0003-6951 le document en entier	1



Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents



Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

10 mai 2000

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

24/05/2000

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL-2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Claessen, L

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

De. de Internationale No

PCT/FR 00/00279

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	EP 0 578 407 A (AMERICAN TELEPHONE & TELEGRAPH) 12 janvier 1994 (1994-01-12) page 2, ligne 40-49; figure 1 page 3, ligne 35-58 ---	1-8, 10, 17
A	US 5 107 538 A (BENTON JANET L ET AL) 21 avril 1992 (1992-04-21) cité dans la demande le document en entier ---	1, 10, 17
A	US 5 374 564 A (BRUEL MICHEL) 20 décembre 1994 (1994-12-20) le document en entier ---	1, 17-20
A	REITTINGER A ET AL: "INFLUENCE OF THE ERBIUM AND OXYGEN CONTENT ON THE ELECTROLUMINESCENCE OF EPITAXIALLY GROWN ERBIUM-DOPED SILICON DIODES" APPLIED PHYSICS LETTERS, vol. 70, no. 18, 5 mai 1997 (1997-05-05), pages 2431-2433, XP000701346 ISSN: 0003-6951 abrégé ---	1
A	FUKATSU S ET AL: "CAVITY MODE LUMINESCENCE OF STRAINED Si1-XGEX/Si QUANTUM WELLS GROWN ON A BURIED-OXIDE SUBSTRATE" JOURNAL OF CRYSTAL GROWTH, vol. 150, no. 1/04, PART 02, 1 mai 1995 (1995-05-01), pages 1055-1059, XP000627835 ISSN: 0022-0248 abrégé ---	1, 11
A	US 5 563 979 A (BRUCE ALLAN J ET AL) 8 octobre 1996 (1996-10-08) le document en entier -----	1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Der Je Internationale No

PCT/FR 00/00279

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 9625767	A	22-08-1996	US 5917195 A	29-06-1999
			AU 5170096 A	04-09-1996
			CA 2213210 A	22-08-1996
			EP 0838093 A	29-04-1998
			JP 11500580 T	12-01-1999
EP 0578407	A	12-01-1994	US 5249195 A	28-09-1993
			CA 2096183 A,C	31-12-1993
			JP 6077579 A	18-03-1994
US 5107538	A	21-04-1992	DE 69201013 D	09-02-1995
			DE 69201013 T	11-05-1995
			EP 0517440 A	09-12-1992
			JP 2097494 C	02-10-1996
			JP 5175592 A	13-07-1993
			JP 8001974 B	10-01-1996
US 5374564	A	20-12-1994	FR 2681472 A	19-03-1993
			EP 0533551 A	24-03-1993
			JP 5211128 A	20-08-1993
US 5563979	A	08-10-1996	EP 0762571 A	12-03-1997
			JP 9105965 A	22-04-1997